



Grado en Biología



Memoria del Trabajo de Fin de Grado

Uso de plantas carnívoras na docencia de disciplinas científicas

Uso de plantas carnívoras en la docencia de disciplinas científicas

Carnivorous plants use in the teaching of scientific disciplines

Ángeles Ayán Álvarez

Julio, 2016

Tutor Académico: Manuel Pimentel Pereira

ÍNDICE

Resumen/summary

Palabras clave

Introducción.....	1
- Marco normativo.....	1
- La docencia práctica en la Educación Secundaria.....	1
- La Biología Vegetal en las prácticas de la Educación Secundaria. La ceguera vegetal.....	2
- Las plantas carnívoras. Aspectos generales.....	2
- Ventajas y desventajas del uso docente de las plantas carnívoras.....	4
Objetivos.....	4
Material y métodos.....	5
- Plantas empleadas en el estudio.....	5
- Diseño de las actividades.....	6
Resultados.....	8
- Características comunes de las prácticas propuestas.....	8
- Prácticas relacionadas con el cierre de la trampa de <i>Dionaea</i>	8
1ª actividad: Efectos del ión Zn^{+2} en el cierre de las trampas de <i>Dionaea</i>	8
2ª actividad: Efectos del aumento de la concentración de H^+ en el cierre de las trampas de <i>Dionaea</i>	11
3ª actividad: El papel de los impulsos eléctricos en las nastias de <i>Dionaea</i>	13
- Prácticas relacionadas con la digestión de las presas (actividad enzimática) en las plantas carnívoras.....	15
4ª actividad: Análisis del efecto de las enzimas en distintos sustratos.....	15
5ª actividad: Análisis del proceso digestivo en <i>Dionaea</i>	16
Discusión.....	19
Conclusiones/Conclusions.....	21
Referencias bibliográficas.....	22

RESUMEN

Diversos autores han defendido la necesidad de reformar el trabajo práctico tal y como se lleva a cabo en las aulas de la Enseñanza Secundaria, cuya eficacia ha sido discutida en numerosos estudios. Siguiendo esa idea, y de acuerdo con la diversa normativa académica en vigor, se diseñan y evalúan 5 actividades prácticas en las que se trabaja con plantas carnívoras. Los objetivos de las actividades planteadas serán, por un lado, servir de complemento a diversos contenidos teóricos del curriculum de la Enseñanza Secundaria, principalmente relacionados con la fisiología y las funciones de relación de las plantas. Por otro lado, se pretende generar materiales basados en la biología vegetal que puedan resultar de interés para el alumnado, contribuyendo a paliar la llamada *ceguera vegetal* entre los estudiantes. Las actividades diseñadas emplean ejemplares vivos de las especies *Drosera aliciae* y *Dionaea muscipula* con lo que se pretende favorecer los aspectos afectivos del aprendizaje. En líneas generales, las prácticas presentan ámbitos de aplicación y sistemas de evaluación concretos y se basan en una visión amplia del método científico. Para cada una de las actividades se discuten las posibles dificultades en su aplicación y posibles modificaciones en el procedimiento.

SUMMARY

Several authors have indicated the need for a reappraisal of the laboratory work in secondary school science courses, whose efficiency has been questioned. Following this idea, we have designed and tested five practical activities based on carnivorous plants. The aims of these activities are: (i) to enhance the learning process of the students, acting as a complement to the theoretical contents included in the syllabus, especially regarding physiology and plant ecology. In addition to this, (ii) we aim at generating new materials focused on plant biology that are interesting to the students and that might be part of the solution against *plant blindness*. The activities require the use of living specimens of *Drosera aliciae* and *Dionaea muscipula*. Using living plants in experiments has been deemed to be useful in enhancing the affective aspects of learning. Generally speaking, these activities have specific application contexts and evaluation systems. Besides, they are based on a wide view of the scientific method. For each activity, the different application problems and solutions are discussed.

PALABRAS CLAVE

Ceguera vegetal, *Dionaea*, *Drosera*, Enseñanza Secundaria, plantas carnívoras, prácticas.

KEYWORDS

Carnivorous plants, *Dionaea*, *Drosera*, plant blindness, practical work, Secondary Education.

INTRODUCCIÓN

El marco normativo

La Ley Orgánica 8/2013, del 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa (LOMCE; Boletín Oficial del Estado el 10 de diciembre del 2013) configura los estudios secundarios no profesionalizantes en dos bloques, la *Educación Secundaria Obligatoria* (en adelante ESO) y el Bachillerato (BOE 10 de Diciembre de 2013). Los objetivos generales de ambas etapas educativas son parcialmente coincidentes, si bien en el caso de la ESO reflejan su carácter obligatorio y su pertenencia a la educación básica. El currículum básico de la ESO y el Bachillerato, establecido por el Real Decreto 1105/2014 (BOE de 3 de Enero de 2015) distribuye los conocimientos en el Área de las Ciencias de la Vida en 5 materias troncales y tres materias específicas (Tabla 1).

Tabla 1: Materias troncales y específicas en el área de “Ciencias de la Vida” (Biología y afines) tanto en ESO como en Bachillerato (BAC).

Troncales	Específicas
Biología y Geología 1ºESO	
Biología y Geología 3ºESO	
Biología y Geología 4ºESO	Cultura Científica 4ºESO
Biología y Geología 1ºBAC	Cultura Científica 1ºBAC
Biología 2ºBAC	Ciencias de la Tierra y Ambiente 2ºBAC

La docencia práctica en la Educación Secundaria

Para la consecución de los objetivos anteriormente citados, se establece en los propios textos normativos la necesidad de realizar prácticas de laboratorio (Real Decreto 1105/2014; BOE de 3 de enero de 2015). Este énfasis en la docencia práctica no es exclusivo de la Educación en España, sino que es característico de otros sistemas educativos occidentales (Osborne, 2015).

Tradicionalmente, se considera que el trabajo de laboratorio brinda a los estudiantes la posibilidad de entender cómo se construye el conocimiento dentro de una comunidad científica, además de servir de refuerzo a los conocimientos que se imparten (López & Tamayo, 2012). Sin embargo, la justificación para la inclusión de prácticas de laboratorio no está siempre clara y a menudo se le atribuyen valores que no han sido demostrados (Abrahams & Millar, 2008). Así, existe consenso en que la docencia práctica permite a los alumnos: (i), experimentar los fenómenos naturales por sí mismos y (ii) testar ideas científicas mediante la observación y la experimentación (Osborne, 2011). Otras ventajas atribuidas a las prácticas de laboratorio (Hawley, 2012) dependerán en buena medida de su aplicación (Abrahams & Millar, 2008). Por ejemplo, a menudo se indica que la docencia en laboratorio permite a los estudiantes entrar en contacto con el método científico; sin embargo, las prácticas tal y como se suelen aplicar ignoran la mayor parte de los aspectos de éste, centrándose únicamente en la reproducción en el laboratorio de un fenómeno natural (Osborne, 2015). Aspectos esenciales del método científico tal y como se entiende en la actualidad, quedan fuera de esta concepción, por ejemplo la formulación de hipótesis, la aplicación de la estadística, el lenguaje matemático o la comunicación y discusión con pares de los (Osborne, 2011; Fig. 1).

Otro aspecto que se suele alegar a favor de realizar actividades de laboratorio en la enseñanza secundaria es la posibilidad de aumentar el interés de los estudiantes. Si bien estudios realizados demuestran que esto es así (Abrahams & Millar, 2008), la introducción de las prácticas no produce una mejora en la retención de las ideas científicas impartidas, a no ser que se tomen medidas específicas que afectan a su contextualización y evaluación (Pearson *et al.*, 2010; Abrahams *et al.*, 2013; Osborne, 2015). En lo referido al primer punto, es necesario que las prácticas se integren dentro de las actividades de docencia expositiva y como un complemento a las mismas, por lo que será necesario realizar un planteamiento

cuidadoso que incluya la estima del número de horas necesarias y los conceptos a transmitir (National Research Council USA, 2011). En lo que respecta a la evaluación, será clave para la valoración de la eficacia de la docencia práctica, existiendo diversas opciones dependiendo de las actividades realizadas (Abrahams *et al.*, 2013).

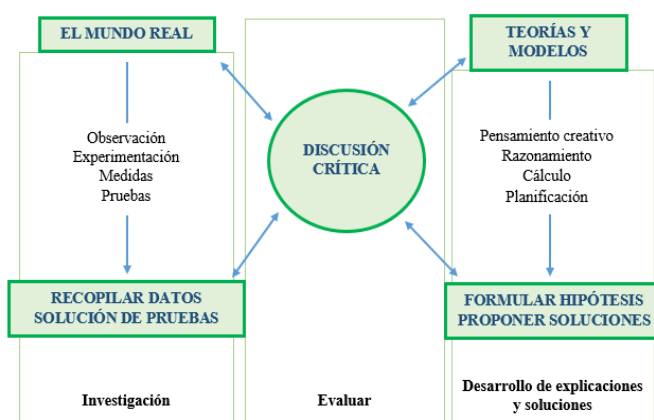


Figura 1: Un modelo de la ciencia que muestra los tres principales ámbitos de actividad y sus prácticas constituyentes (Osborne, 2011).

La Biología Vegetal en las prácticas de la Educación Secundaria. La ceguera vegetal

La ceguera vegetal (*plant blindness*) se ha definido como la incapacidad de las personas para reparar y fijarse en las plantas a su alrededor (e.g. Schussler & Olzak, 2008). Esta incapacidad se traduce en falta de interés y de apreciación por la diversidad del mundo vegetal y por la importancia de su conservación (Wandersee & Schlusser, 2001). Se han aducido varias causas para explicar este fenómeno: (i) la falta de conexión de los habitantes de las ciudades con el mundo rural y la agricultura; (ii) la dificultad intrínseca de establecer relaciones de orden afectivo (por oposición al orden cognitivo) con el mundo vegetal y (iii) el enfoque claramente zoocéntrico de la docencia de la Biología en todas las escalas del sistema educativo (Uno, 2009; Nyberg & Sanders, 2014). La no utilización de ejemplos vegetales para ilustrar conceptos generales en biología (y la falta de instrucción específica en biología vegetal) tiene consecuencias en el conocimiento de los estudiantes. Así, un estudio internacional basado en encuestas realizadas a más de 11000 alumnos de 26 países (10-11 años) mostró que un 46% eran incapaces de determinar a partir de qué parte de la planta se formaban las semillas (IEA, 1997).

Numerosos investigadores han propuesto cambios en la forma en que se imparten los conocimientos relacionados con las plantas en la educación secundaria (Slingsby, 2006; Barker, 2007; Nyberg & Sanders, 2014). Estas nuevas aproximaciones tienen en común, por un lado, señalar la necesidad de que los alumnos tengan un contacto directo con las especies con las que se va a trabajar (Barker, 2007) y por otro la necesidad de atender no solamente a los aspectos cognitivos, sino también a los afectivos, necesarios para despertar el interés de los estudiantes (Nyberg & Sanders, 2014). Asimismo, se señala la importancia de emplear en el diseño de las prácticas los resultados de investigaciones recientes que subrayen el carácter dinámico del comportamiento vegetal (e.g. Volkov *et al.*, 2008b; Jennings *et al.*, 2010). Diversas iniciativas actualmente en marcha inciden en estas líneas, como “*Plant Scientists Investigate at School and at the Botanic Garden*”, de la Unión Europea (www.plantscave.net) o “*Sciences and Plants for Schools*” de la Universidad de Cambridge (<http://www.saps.org.uk>).

Las plantas carnívoras. Aspectos generales

Darwin (1875) fue de los primeros en observar la existencia de las plantas insectívoras; plantas herbáceas de pequeño tamaño que complementan la alimentación autótrofa con la heterótrofa, para lo cual han

desarrollado diversas estrategias de atracción, captura y digestión de sus presas. Gracias a este tipo de alimentación, pueden crecer en suelos empobrecidos en nutrientes (especialmente nitrógeno) o suelos en los que éstos no están disponibles (tierras ácidas pantanosas, suelos rocosos saturados de agua, medios acuáticos oligotróficos; Chova, 2015).

En la mayoría de los casos, las plantas carnívoras desarrollan modificaciones en sus hojas que les permiten especializarse en la captura, digestión y absorción de presas, disminuyendo al mismo tiempo sus tasas fotosintéticas, lo que supone un alto coste energético a fin de mantener esas trampas (Blondeau, 2004; Król *et al.*, 2011). Este coste es especialmente grande en las especies en las que la captura de presas depende de movimientos násticos rápidos (Volkov *et al.*, 2008b). En todos los casos, la captura, digestión y absorción de las presas tiene como base un hiperdesarrollo de la capacidad de captación foliar de nutrientes, presente en todos los vegetales (Król *et al.*, 2011).

La presencia o no de movimientos en las estrategias de captura de presas permite establecer la siguiente clasificación (Król *et al.*, 2011).

- **Trampas pasivas:** se caracterizan por la ausencia de movimiento. Una vez capturado el insecto, su digestión se basa en una secreción constitutiva basal de enzimas digestivas, que va a verse incrementada en función del tamaño de la presa, regulándose por un mecanismo de transducción de señal. Por ejemplo, *Sarracenia* L. (Fig. 2A), *Nepenthes* L. (Fig. 2B) y *Darlingtonia* DC.
- **Trampas activas:** presentan movimiento para la captura de su presa. Si bien el movimiento es común a todas las especies que poseen trampas activas, las estructuras móviles no son siempre las mismas. Así, en el caso del género *Drosera* L. (Fig. 2C), el movimiento tiene lugar en pelos glandulares foliares especializados. En otros casos se produce la modificación total de la hoja, como en los géneros *Utricularia* L. y *Dionaea* Sol. Ex J.Ellis (Fig. 2D).

En la actualidad, existen unas 590 especies distintas de plantas carnívoras, las cuales representan a 12 familias de angiospermas dicotiledóneas que se distribuyen a lo largo del planeta con representantes en todos los continentes excepto la Antártida (Darwin, 1875; Król *et al.*, 2011).

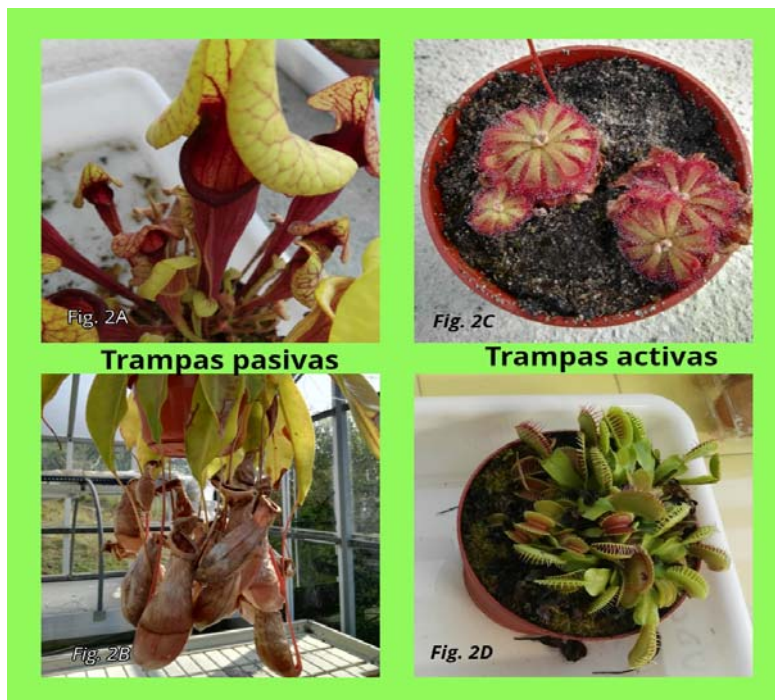


Figura 2: Ejemplo de trampas en plantas carnívoras.

Ventajas y desventajas del uso docente de las plantas carnívoras. Experiencias previas

El uso de las plantas carnívoras en la enseñanza ha sido sugerido en diversos repositorios de materiales docentes (*Science and Plants for Schools*, www.saps.org.uk; *International Carnivorous Plants Society*, <http://www.carnivorousplants.org/Education>), si bien no se plantean actividades concretas más allá de la demostración de su funcionamiento en la clase. Por otro lado, no se establece el contexto académico en el que las actividades puedan plantearse. De acuerdo con estas fuentes, las principales ventajas del uso de las plantas carnívoras en la docencia son:

- Su fácil obtención (bajo precio), mantenimiento y reproducción en el invernadero.
- Su mecanismo de funcionamiento, fácilmente observable a simple vista y manipulable.
- El elevado conocimiento que se tiene del comportamiento de estas plantas, ya desde los trabajos de Darwin (1875).
- Lo llamativo del comportamiento de estas plantas, que desafía las ideas preconcebidas de los alumnos acerca del carácter estático de las plantas.

Visto lo anterior es importante considerar también sus aspectos negativos en la docencia. Por un lado, estas plantas, por las características “animales” de su comportamiento (captura y digestión de presas, ciertos movimientos) pueden, dada su excepcionalidad en el mundo vegetal, reforzar la idea de lo estático del comportamiento de las plantas. Por otro lado, el uso de procesos llamativos tiene el riesgo de que se recuerde lo llamativo y no se atienda a las ideas que se pretende transmitir (Abrahams & Millar, 2008).

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo será la planificación de prácticas de laboratorio destinadas a los estudiantes de la ESO y el Bachillerato y en las que se trabaje con distintas especies de plantas carnívoras, dentro de las posibilidades materiales que suelen ofrecer los institutos públicos. Con estas actividades se pretende contribuir a profundizar en el conocimiento sobre las plantas, reduciendo de este modo los problemas derivados de la ceguera vegetal entre los estudiantes.

Las actividades diseñadas pertenecen al ámbito del laboratorio, y se podrán introducir en la docencia académica, de forma que los alumnos trabajen con plantas vivas y adquieran conocimientos teóricos y habilidades prácticas. En el diseño de las actividades se ha intentado seguir las ideas pedagógicas más recientes, de forma que se trabajen distintos aspectos referidos a la creación científica más allá de la mera observación de los fenómenos naturales. Con estas prácticas queremos participar en el fomento de una enseñanza más activa y participativa, donde se impulse el método científico y el espíritu crítico. Asimismo, pretendemos también aumentar la motivación del alumno para afrontar el estudio de los organismos vegetales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Especies empleadas en el estudio

Las especies empleadas han sido *Drosera aliciae* Raym.-Hamet y *Dionaea muscipula* J.Ellis (F. Droseraceae). Estas especies fueron seleccionadas en base a los siguientes criterios:

- Si bien ambas especies presentan mecanismos activos de captura (*sensu* Król *et al.*, 2011), éstos son marcadamente diferentes en ambos géneros.
- El hábito carnívoro es constitutivo en ambos géneros, de forma que los procesos de captura y digestión de las presas son fáciles de observar y de manipular.
- Las trampas (hojas modificadas) son de gran tamaño en ambos géneros.
- El hábito carnívoro en estos géneros ha sido estudiado en profundidad a lo largo de los últimos 140 años (Darwin, 1875)
- Las especies seleccionadas dentro de cada género son fáciles de conseguir en viveros y floristerías, tienen bajo precio y se reproducen vegetativamente con facilidad. Asimismo, ambas presentan escasos requerimientos y son de manejo sencillo (D'Amato, 1998).

Es importante señalar que los ejemplares utilizados han sido cultivados en invernadero por empresas especializadas (http://www.ventadeplantascarnivoras.es/our_stores.php) y en ningún caso han sido recogidas del medio natural.

Drosera aliciae

Se trata de una especie perenne del grupo sudafricano del género *Drosera* que, en su área de distribución original, habita suelos rocosos y expuestos de alto nivel de humedad (D'Amato, 1998).

Las hojas de esta especie, dispuestas en roseta basal, consisten en láminas espatulares cortas provistas de cilios en su parte superior. Estos cilios tienen naturaleza glandular y producen una secreción azucarada de carácter adhesivo. La atracción de las presas se produce por la emisión de aromas (Jürgens *et al.*, 2009), por el brillo de la secreción bajo la luz del sol y por la coloración de la hoja, rica en antocianinas (Król *et al.*, 2011). Cuando la presa entra en contacto con los pelos glandulares queda atrapada por la secreción pegajosa. La presa al debatirse provoca un potencial de acción que motiva la curvatura de los pelos vecinos (por crecimiento diferencial entre las dos capas de la hoja, haz y envés). Las mismas glándulas son utilizadas para la secreción de enzimas digestivos, principalmente proteasas (Amagase, 1972).

***Dionaea muscipula* (varios cultivares)**

Consta de un rizoma sin ramificar, que es una estructura en forma de bulbo formada por la superposición de las porciones basales de las hojas que rodean la yema de crecimiento. El extremo de cada hoja está modificado en forma de trampa (Fig. 3 A, B), con la cual la planta captura sus presas, mientras que la porción basal, el peciolo, que apoya la trampa es carnoso y almacena el alimento. Las hojas (hasta 20 cm) están dispuestas en roseta, siendo las centrales las más jóvenes (Pietropaolo, 1996). La trampa consiste en dos lóbulos semicirculares abiertos en un ángulo de 40 a 50° y unidos por su base. El borde de cada lóbulo está revestido por pelos gruesos que se entrecruzan al cerrarse. La base de los pelos está cubierta de glándulas secretoras de néctar, mientras que la superficie interna de los lóbulos está recubierta por glándulas digestivas con 3 cilios detectores situados en triángulo y que activan el cierre de la trampa cuando son estimulados (D'Amato, 1998).

Funcionamiento de la trampa en Dionaea

Las respuestas de la Venus atrapamoscas (*Dionaea*) pueden dividirse en tres etapas: la percepción de estímulos, la transmisión de señal eléctrica, y la inducción de respuestas mecánicas y bioquímicas (Volkov *et al.*, 2008).

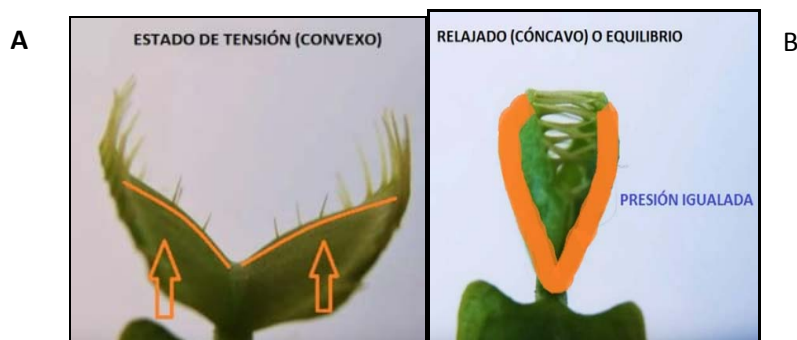


Figura 3: Forma de los lóbulos de la planta en estado de tensión (abierta; A) y tras su cierre (B). Tomado de www.carniplant.es.

Cuando la trampa está abierta (Fig. 3A), los lóbulos presentan una forma convexa. Anatómicamente, cada lóbulo presenta 2 capas, una inferior y otra superior. La capa inferior presenta una elevada presión hidrostática que se mantiene por el bloqueo de las acuoporinas.

Cuando un insecto toca el pelo de activación, el estímulo mecánico viaja a través del citoplasma de las células hasta la zona basal del pelo donde se encuentran los mecanorreceptores que lo transforman en señal eléctrica. Luego el potencial de acción (involucra principalmente iones Ca^{2+}) se transmite a través de la epidermis. Se requieren al menos dos potenciales de acción para alcanzar el umbral y que haya una respuesta mecánica (el pelo activador deberá ser tocado por lo menos dos veces). La carga eléctrica precisa para el cierre de las hojas de *Dionaea* es de $13,6 \mu\text{C}$ (Volkov *et al.*, 2008). El potencial generado provoca que se empiece a hidrolizar ATP con un transporte de H^+ en la pared celular de las células de las capas exteriores de los lóbulos, reduciendo pH y liberando componentes extracelulares. Esto provoca la apertura de los canales de acuoporinas y se igualan las presiones hidrostáticas entre la capa inferior y la superior cerrándose la trampa (Fig. 3B).

Las trampas de *Dionaea* presentan mecanismos para evitar la pérdida innecesaria de energía en el proceso de captura. Así, si el insecto capturado es de pequeño tamaño, éste puede salir por los espacios originados por el cruce de los pelos marginales de los lóbulos (Fig. 3B). Una trampa cerrada en vacío volverá abrirse en 24-48 horas, mientras que el proceso de digestión de una trampa que captura un insecto durará entre 1 y 2 semanas (Lecoufle, 2006).

Diseño de las actividades

En línea con los objetivos ya señalados, se diseñarán y evaluarán 5 actividades docentes para su uso en la Enseñanza Secundaria (ESO y/o Bachillerato). Para cada una de estas actividades se seguirán, hasta donde sea posible, los principios expresados por Osborne (2011, 2015). Según este autor, las actividades prácticas diseñadas deben:

- Estar claramente contextualizadas dentro del temario, de forma que se configuren como un apoyo a los contenidos de la docencia expositiva.
- No deben estar centradas en los contenidos procedimentales, si bien éstos son también importantes. Los contenidos no procedimentales deben estar claramente establecidos.
- Deben fomentar una concepción amplia del método científico, que vaya más allá de la observación de los procesos naturales (Abrahams *et al.*, 2013).
- Deben incluir entre sus objetivos, de forma explícita, la adquisición de habilidades de comunicación de lo observado o deducido.

- En la medida de lo posible, y dependiendo del nivel educativo para el que se preparen las actividades, deben incluir elementos estadísticos que permitan la toma de decisiones.
- Debe establecerse un sistema de evaluación de los contenidos adquiridos. Para todos los casos se seleccionarán los métodos directos (*Direct Assessment of Practical Skills*; DAPS) tal y como son definidos en Abrahams *et al.* (2013). En los métodos DAPS las competencias adquiridas se comprueban directamente, observando al alumno trabajar sobre el material y haciendo preguntas referidas a los contenidos.

Cada una de las prácticas realizadas constará de las siguientes partes:

- **Introducción** (contexto académico/contexto científico), donde se indicarán los contenidos (procedimentales o no) a adquirir y se determinará el nivel o niveles académicos donde se impartirán las prácticas. Asimismo, se indicará el principio o principios en los que se basa la práctica propuesta y, en su caso, la fuente de donde se ha obtenido la idea para la realización de la práctica.
- **Protocolo de la actividad**, donde se indicarán los pasos a seguir y los materiales necesarios para realizar la práctica. En todos los casos, los materiales a emplear estarán disponibles en los institutos públicos de Galicia o podrán ser obtenidos fácilmente.
- **Resultados**, donde se explicarán los resultados obtenidos en la prueba piloto realizada en el laboratorio de Botánica de la Facultad de Ciencias (Universidade da Coruña). La realización de la prueba piloto permitirá detectar posibles dificultades en la realización del experimento.
- **Recapitulación**, donde se comentarán los resultados obtenidos a la luz de los objetivos propuestos, señalándose las dificultades observadas en el proceso de realización de la práctica. En su caso, se propondrán métodos de evaluación de las competencias adquiridas por el alumno dentro del ya citado DAPS (Abrahams *et al.*, 2013).

Las actividades han sido diseñadas pensando en un aula “ideal” en la que el número de alumnos se corresponde con el tamaño medio de las aulas de ESO del sistema educativo de Galicia en 2011 (~20 alumnos; Instituto de Evaluación, 2011). La duración estimada de cada una de las actividades propuestas se indicará en la descripción de la misma.

RESULTADOS

Como resultados de este trabajo se proponen 5 actividades en las que se utilizarán las plantas carnívoras para introducir diferentes conocimientos generales de Biología. Estas actividades se han diseñado para su desarrollo en el laboratorio, tres de las cuales se basan en los mecanismos de cierre de las trampas de *Dionaea muscipula* y dos en los procesos digestivos de *Drosera aliciae* y *D. muscipula*.

Características comunes de las prácticas propuestas

Dado que las actividades han sido diseñadas, en la medida de lo posible, siguiendo los criterios expresados por Osborne (2011, 2015), su implementación sigue unas mismas líneas generales:

- Las actividades se proponen como complementarias a la docencia teórica impartida, de forma que los alumnos serán informados desde el principio de los resultados esperables.
- Se pedirá a los alumnos que propongan diseños para la práctica y discutan las distintas propuestas para mejorar sus capacidades de comunicación científica. Asimismo, este ejercicio les permitirá ser conscientes de la importancia en toda investigación de aspectos como la existencia de controles positivos o negativos, la estandarización de la toma de datos, etc.
- Se pedirá a los alumnos que, una vez finalizada la práctica, preparen un informe con sus resultados que incluya la base científica de los mismos. Este informe se expondrá a otros profesores del seminario de Biología del centro que podrán realizar preguntas bien acerca de la idea científica subyacente al experimento o bien acerca de su implementación práctica, haciendo especial hincapié en posibles fallos del diseño del experimento. Se prestará especial atención, en aquellas actividades que lo permitan, a la significación estadística a la hora de comunicar los resultados de la práctica. El profesor basará su calificación de la práctica en lo observado en esta última actividad, si bien también se tendrán en cuenta aspectos actitudinales como el interés, la participación, etc.

Prácticas relacionadas con el cierre de las trampas de *Dionaea*

- **Primera actividad. Efectos del ión Zn^{+2} en el cierre de las trampas de *Dionaea***

Introducción

El Zn^{2+} es conocido como un bloqueador de acuaporinas, los canales de aniones, y posiblemente los canales H^+ en las plantas (Hodick & Sievers, 1989), con lo que concentraciones altas de este ión inhiben o retrasan el proceso de cierre de la trampa (Volkov *et al.*, 2008). Esta inhibición es reversible mediante la eliminación del exceso de Zn^{2+} de la planta.

En esta actividad esperamos observar cómo, a medida que aumenta la concentración de Zn en la hoja, al efectuar los toques en el pelo sensitivo, la trampa tarda más en cerrarse o incluso no llega a hacerlo. Conceptos relevantes dentro del experimento propuesto serán los bioelementos secundarios (más concretamente el Ca) y su papel en la transmisión de información (y señales eléctricas) entre las células y el transporte transmembrana. Ambos aspectos son tratados en las materias de Biología y Geología (itinerario de Ciencias de la Naturaleza y la Salud) de 1º de Bachillerato (Bloque 1 y Bloque 5; BOE de 3 de Enero de 2015) y Biología de 2º de Bachillerato (Bloque 1, Bloque 2; BOE de 3 de Enero de 2015). Asimismo, este experimento podría ser introducido en cualquier bloque de metodología científica (e.g. Bloque 4 de 4º de ESO; BOE de 3 de Enero de 2015) dentro de los cursos avanzados de la Educación Secundaria.

Protocolo de la actividad

Modelo de participación de los alumnos y duración. La práctica será llevada a cabo por 5 grupos de 4 alumnos (estima de 20 alumnos por clase). La duración de las distintas actividades será de 4 días.

Material necesario. Solución de cloruro de Zn (Cl_2Zn), diversas concentraciones; viales de cristal, 4 bandejas, perlita u otro sustrato estéril, tijeras, pinzas y ejemplares de *Dionaea*. Idealmente, deberán ser especímenes de edades semejantes y con hojas jóvenes de similar tamaño.

Procedimiento

- Preparamos 3 concentraciones distintas de zinc (Cl_2Zn): 0.5 mM, 1.5 mM y 2 mM con un volumen final de 10 ml.
- Preparamos un control con agua destilada.
- Rotulamos en pocillos 4 réplicas para cada concentración y un blanco y los colocamos en una bandeja. Se prepararán un total de cuatro bandejas para el conjunto del experimento.
- Seccionamos una hoja de la planta por cada pocillo, intentando, en la medida de lo posible, seleccionar hojas de tamaño y estado fisiológico parecido para estandarizar el experimento. Se introduce el pecíolo de la hoja en los distintos viales con solución de Cl_2Zn (Fig. 4).
- Durante los cuatro días posteriores (una bandeja por día) se provoca el cierre de las trampas y se mide con un cronómetro el tiempo que tarda el cierre total de la planta. Para ello, establecemos un procedimiento estándar: tocamos 2 veces un mismo pelo sensible con un intervalo de 10 segundos y hacemos coincidir el 2º toque con el inicio de la cuenta del cronómetro.
- Se prepara una tabla con los tiempos de cierre de las hojas introducidas en cada uno de los tratamientos. Las medidas obtenidas se compararán con el resultado del control.



Figura 4: Imagen de los tratamientos colocados en las bandejas de perlitas.

Resultados

Los tiempos de cierre (en segundos) de las trampas en los distintos tratamientos se indican en la Tabla 2. Como se puede ver en la tabla, para todos los tratamientos la mayoría de las hojas se encontraban cerradas el cuarto día (y el tercero en el caso de las concentraciones de 1.5 y 2 mM).

Los cierres producidos en los tratamientos de 1.5 mM y 2 mM (además del bajo número de datos tomados) no permiten realizar análisis estadísticos sobre los datos. El elevado porcentaje de hojas cerradas en los tratamientos con mayores concentraciones de Zn^{+2} puede deberse a la degradación de los tejidos de la hoja que están en contacto directo con la solución, algo que no ocurre con las plantas control. De hecho, no se observan a simple vista daños en las hojas sometidas a baja concentración de Zn^{2+} , pero en las sometidas a alta concentración, sobre todo en las del día 3 y 4 se observa claramente la necrosis en la base de la hoja cortada.

Tabla 2: Tiempos de cierre de las trampas en relación a las concentraciones de Zn^{+2} y al tiempo transcurrido.

Tiempos día 1	Concentraciones (mM)		
	0.5	1.5	2
Réplica 1	2 s	7 s y cierre incompleto	No cierra
Réplica 2	3 s	2 s	7 s
Réplica 3	No cierra	2 s	6 s
Réplica 4	No cierra	2 s	4 s
Control		2 s	
	Concentraciones (mM)		
	0.5	1.5	2
Réplica 1	No cierra	2:74 s	No cierra
Réplica 2	2 s	2:99 s	Cerrada
Réplica 3	1:94 s	No cierra	Cerrada
Réplica 4	No cierra	Cerrada	1:05 s
Control		2 s	
	Concentraciones (mM)		
	0.5	1.5	2
Réplica 1	4:19 s	Cerrada	Cerrada
Réplica 2	5:38 s	Cerrada	Cerrada
Réplica 3	4:20 s	Cerrada	Cerrada
Réplica 4	2:43 s	Cerrada	Cerrada
Control		1:83 s	
	Concentraciones (mM)		
	0.5	1.5	2
Réplica 1	No cierra	Cerrada	Cerrada
Réplica 2	No cierra	Cerrada	Cerrada
Réplica 3	Cerrada	Cerrada	Cerrada
Réplica 4	Cerrada	Cerrada	Cerrada
Control		1:58 s	

En lo que se refiere al primer tratamiento (0.5 mM) se observa un incremento del tiempo de cierre de las trampas, si bien la tendencia no es clara. Y desde el principio existen hojas que no cierran, sin que quede claro si son hojas afectadas por el exceso de Zn^{+2} o si es resultado del estado fisiológico de la hoja.

Recapitulación

Si bien la base científica de esta actividad basada en Volkov *et al.* (2008, 2008b) es potencialmente relevante para estudiantes de ESO y Bachillerato por sus contenidos teóricos y procedimentales, será necesario realizar modificaciones en el protocolo que permitan su aplicación. Una posibilidad sería emplear bloqueantes de mayor eficacia, como podría ser la neomycina o el rojo de rutenio (Hodick & Sievers, 1988), si bien esto se desaconseja por la alta toxicidad de estos compuestos (Król *et al.*, 2006). Otra posibilidad a explorar sería el uso de plantas completas en lugar de hojas cortadas. Las plantas se cultivarían en sustrato estéril (perlita o vermiculita) y se regarían con una solución de Zn^{+2} durante una serie de días en los que se provocaría el cierre de las hojas y se cronometraría la duración del proceso. Se ha comprobado que esta alternativa funciona, si bien la concentración de Zn^{+2} a emplear es mucho mayor

(hasta 10 mM, Volkov *et al.*, 2008). La dificultad que ofrecería esta posibilidad sería la necesidad de un número mucho mayor de plantas que no siempre está disponible, especialmente en los meses de invierno.

- ***Segunda actividad. Efectos del aumento de la concentración de H^+ en el cierre de las trampas de *Dionaea****

Introducción

El potencial osmótico es un factor de gran importancia en numerosos procesos Biológicos, y el bombeo activo de protones (H^+) es a menudo fundamental en su formación. La existencia de este potencial es requerida para el funcionamiento de las acuoporinas y el cierre de las trampas de *Dionaea* (Markin *et al.*, 2008; Williams & Bennet, 1982).

En esta actividad esperamos observar como la inclusión de las hojas en un medio ácido genera la diferencia de concentración de H^+ entre los medios externo e interno, por lo que la trampa se cierra independientemente de la existencia de estímulo (Williams & Bennet, 1982). Conceptos relevantes dentro del experimento propuesto serán el potencial osmótico y su papel en los procesos fisiológicos, así como el transporte a través de membranas. Ambos aspectos son tratados en las materias de Biología y Geología (itinerario de Ciencias de la Naturaleza y la Salud) de 1º de Bachillerato (Bloque 5; BOE de 3 de Enero de 2015) y Biología de 2º de Bachillerato (Bloque 1; BOE de 3 de Enero de 2015).

Protocolo de la actividad

Modelo de participación de los alumnos y duración. La práctica se llevará a cabo en grupos de 4 alumnos (5 grupos para un total de 20 alumnos en el aula). La actividad se desarrollará en una sesión de laboratorio en paralelo a la impartición de los contenidos teóricos. La práctica podrá llevarse a cabo en una única sesión, si bien la preparación de las soluciones por parte de los estudiantes podría dilatar el proceso.

Material necesario. Viales de ácido clorhídrico (HCl, volumen mínimo 40 ml) en diversas concentraciones (0.01 M, 0.05 M, 0.1 M, 0.25 M, 0.35 M, 0.5M, 0.6 M, 0.75 M y 1 M), probeta, vaso de precipitados, cronómetro, pinzas, tijeras y plantas de *Dionaea*. Cada grupo de alumnos necesitará 30 hojas de *Dionaea*, idealmente de semejante tamaño, edad y estado fisiológico. Dado que las plantas sanas de *Dionaea* cuentan con alrededor de 10 hojas, para la realización de la actividad se necesitará un total de 15 plantas adultas. El manejo de ácidos fuertes, si bien a bajas concentraciones, requerirá el uso de equipos de protección individual por parte de los alumnos en cumplimiento de la normativa de seguridad y salud en los institutos de enseñanza secundaria (e.g. Real Decreto 393/2007).

Procedimiento

- Preparamos nueve soluciones de HCl con las siguientes concentraciones: 0.01 M, 0.05 M, 0.1 M, 0.25 M, 0.35 M, 0.5 M, 0.6 M, 0.75 M y 1 M (volumen final de 40 ml) El manejo del HCl sin diluir corresponderá exclusivamente al profesor.
- Preparamos un control con agua destilada (40 ml).
- Cada grupo de alumnos seccionará 3 hojas de *Dionaea* por cada una de las soluciones de HCl (más el control). Los alumnos introducirán las hojas en las distintas soluciones y el control de agua destilada y cronometrarán el tiempo que tarda la trampa en cerrarse.
- Los alumnos realizarán una tabla donde se registrarán los tiempos de cierre de las trampas en las distintas soluciones. Los datos se representarán en una recta y se estimará el coeficiente de regresión lineal (procedimiento impartido dentro del Bloque 5 de la materia de Matemáticas 1 de 1º de Bachillerato; BOE de 3 de Enero de 2015).

Resultados

Los tiempos de cierre (en segundos) de las hojas en las distintas concentraciones de HCl se indican en la Tabla 3. Se observa claramente un incremento de velocidad del cierre de la trampa conforme aumenta la concentración de HCl (acidez) en el medio. En la Fig. 5 (A, B, C) se puede observar la variación del tiempo de cierre de las trampas en relación a la concentración de HCl en las tres series de pruebas independientes realizadas. Asimismo, se muestra el coeficiente de correlación para las tres series, que en los tres casos resultó significativo ($\alpha=0,05$).

Tabla 3: Tiempos de cierre de cada hoja en función de la concentración de HCl

ÁCIDO	Vial 1	Vial 2	Vial 3
Concentración 0.01 M	6 min y no cerraron		
Concentración 0.05 M	6 min y no cerraron		
Concentración 0.1 M	20 s	40 s	6 min y no cerró
Concentración 0.25 M	20 s	25 s	33 s
Concentración 0.35 M	18 s	25 s	29 s
Concentración 0.50 M	15 s	20 s	12 s
Concentración 0.60 M	15 s	14 s	10 s
Concentración 0.75 M	12 s	10 s	14 s
Concentración 1.00 M	2 s	2 s	7 s

Los resultados obtenidos permiten observar el efecto de la acidez en la velocidad de las nastias en *Dionaea*, que ya había sido señalado en diversas ocasiones (Williams & Bennet, 1982). La observación de resultados similares en las tres series independientes apoya esta conclusión.

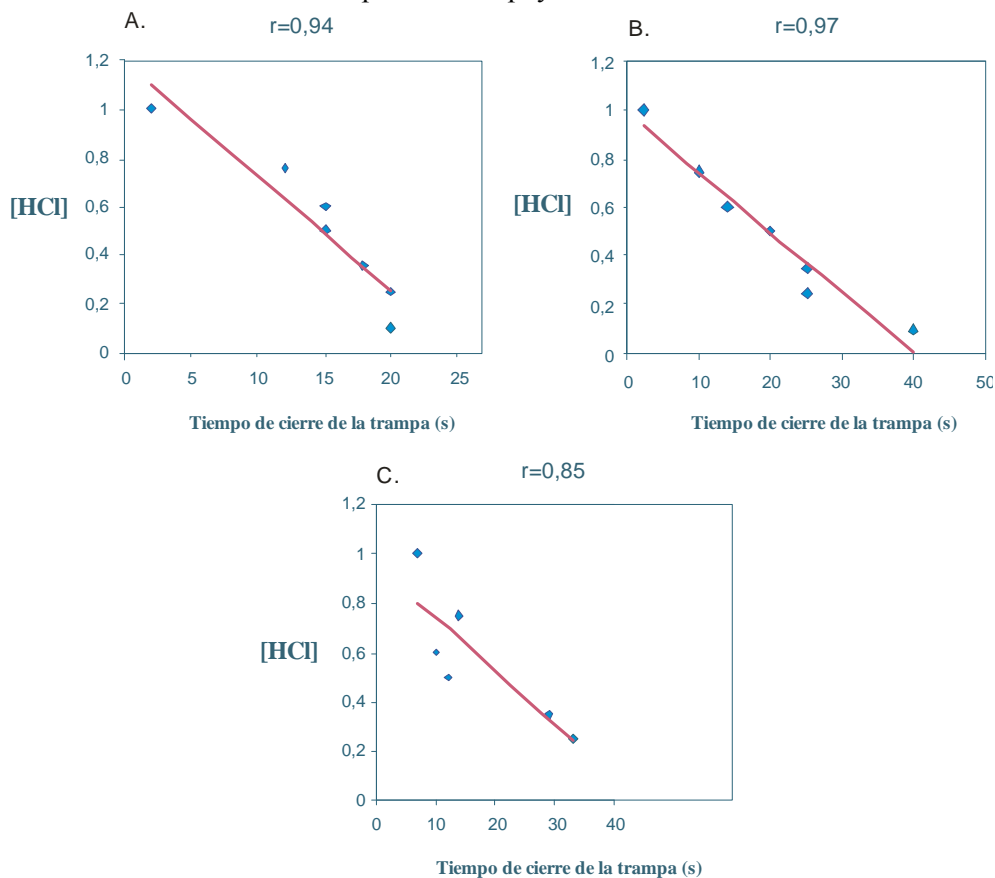


Figura 5: Representación gráfica y coeficiente de correlación de cada serie.

Recapitulación

La base científica de esta actividad basada en Williams & Bennet (1982) es relevante para estudiantes de Bachillerato por sus contenidos teóricos y procedimentales. El protocolo realizado es robusto, de fácil puesta en práctica y no muy intensivo, por lo que la actividad podría llevarse a cabo en sesiones teórico-prácticas. Además esta actividad será la posibilidad de realizar pruebas estadísticas sencillas para comprobar la significación de los coeficientes de correlación estimados. Los conocimientos necesarios para la realización de estas pruebas (estudio de la regresión y análisis de significación mediante la *t* de Student) forman parte del curriculum de la materia de Matemáticas de 1º de Bachillerato (BOE de 3 de Enero de 2015), por lo que no deberían suponer un problema para los estudiantes que realicen esta actividad. Con este experimento los alumnos aprenden también a trabajar con reactivos ácidos, conociendo las principales características y peligros de cada uno de ellos, impartándose de esta forma contenidos procedimentales relacionados con la seguridad en el laboratorio.

- ***Tercera actividad. El papel de los impulsos eléctricos en las nectas de *Dionaea*.***

Introducción

Como ya se indicó, cuando un insecto toca los tricomas sensores de los lóbulos foliares de *Dionaea* se genera un potencial de acción que desencadena el mecanismo de cierre de la planta. Ese proceso, que tiene lugar en una fracción de segundo (1,5 ms; Volkov *et al.*, 2007), es un modelo adecuado para el estudio del papel de la electricidad en la transmisión de señales bioquímicas no solo en animales, sino también en especies vegetales (Volkov *et al.*, 2008). Por otro lado, la intensidad de la respuesta de la hoja depende del número de potenciales de acción generados, lo que ha llevado a algunos investigadores a señalar a *Dionaea* como la única planta capaz de “contar” (Böhm *et al.*, 2016).

En esta actividad, se aplicarán pequeñas descargas eléctricas a hojas de *Dionaea* para observar su efecto. Los alumnos observarán como estas descargas pueden producir el cierre de la planta. Asimismo, observarán que las cargas deben acumularse hasta llegar a un umbral por encima del cual las trampas se cerrarán, de forma que estas plantas tienen una “memoria eléctrica a corto plazo” (Böhm *et al.*, 2016). Finalmente, los estudiantes verán que el papel fisiológico de los impulsos eléctricos va más allá del sistema nervioso animal, y es un carácter compartido por animales y plantas. La actividad propuesta podrá ser aplicable especialmente a la asignatura de Biología y Geología de 1º de Bachillerato dentro del itinerario de Ciencias de la Naturaleza y la Salud (Bloque 5 y Bloque 6, BOE de 3 de Enero de 2015).

Protocolo de la actividad

Modelo de participación de los alumnos y duración. La práctica se llevará a cabo en grupos de dos alumnos (10 grupos para un total de 20 alumnos en el aula). La actividad se desarrollará en una sesión de aula en paralelo a la impartición de los contenidos teóricos.

Material necesario. Se necesitará una fuente de alimentación regulable o, en su defecto, una pila (un rango de voltaje de entre los 3 V y los 9 V sería especialmente recomendable; Tabla 4). También se necesitarán cables y pinzas cocodrilo para conectar a los bornes de la pila (o bien bananas para la fuente de alimentación) y establecer un circuito con las hojas de la planta. Cada pareja de alumnos trabajará con dos plantas de *Dionaea*.

Procedimiento

- Dentro de cada planta, se deberán seleccionar hojas de semejante edad y estado fisiológico con vistas a estandarizar la toma de datos. Las hojas seleccionadas se marcarán en la cara externa de uno de los lóbulos con un rotulador permanente. En total se necesitarán 24 hojas.
- Los cables unidos a la fuente de alimentación (1 V) se colocarán uno tocando el centro de un lóbulo y el otro en el nervio central que hace de “gozne” entre los dos lóbulos. Se realizará la descarga durante 10 s, acto seguido hacemos una parada de 5 s y volvemos a aplicar la descarga (aplicación discontinua) hasta que la trampa se cierre (límite de 1 min). Este tratamiento se repite a diversos voltajes (1 V, 3 V, 5 V, 7 V, 9 V y 11 V).

Resultados

La aplicación discontinua de impulsos tal y como se diseñó en la sección de procedimiento solo puede llevarse a cabo a voltajes bajos (1 V), ya que a partir de los 3 V el tiempo de cierre de la trampa es siempre menor de 10 s, como se observa en la Tabla 4 (datos completos en Anexo 1).

Tabla 4: Tiempos promedio de cierre para cada voltaje aplicado.

Voltaje (V)	Tiempo promedio* (cs)
1	2425
3	1201.5
5	550.5
7	469.5
9	229.75
11	139.25

Tal y como se observa en la Fig.6 y la Tabla 4, los tiempos de cierre de las trampas de *Dionaea* disminuyen a medida que aumenta el voltaje. Se aprecia un coeficiente de correlación elevado ($r=0,89$) y altamente significativo ($\alpha=0,05$). Es importante señalar, sin embargo, que los tiempos son muy variables dependiendo de la hoja seleccionada. Emplear los promedios de las medidas en los cálculos evita en parte el efecto de esta variabilidad.

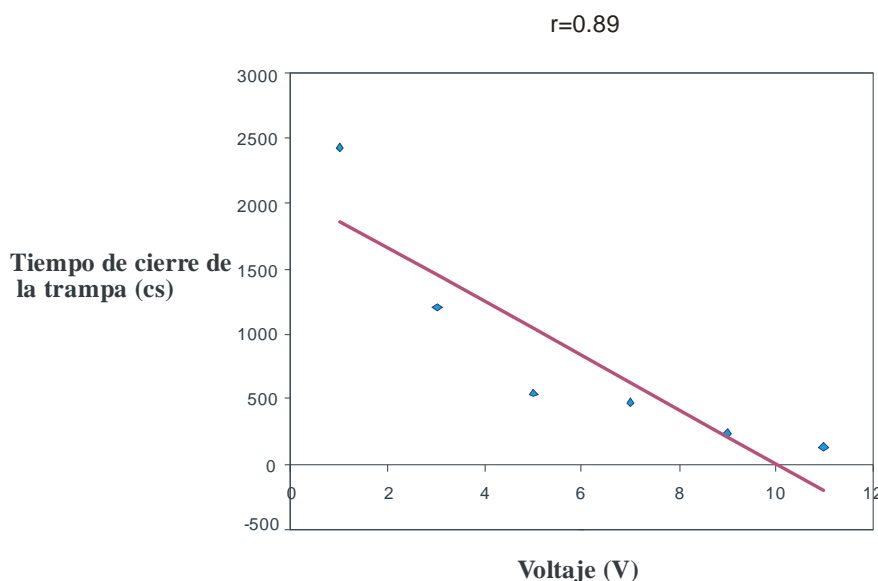


Figura 6: Representación gráfica y coeficiente de correlación entre el voltaje y el tiempo de cierre de la trampa.

Recapitulación

Esta actividad, basada en los trabajos de Volkov *et al.* (2007, 2008) es relevante no únicamente por su adaptación a los contenidos ya citados anteriormente, sino que también puede ser de interés en materias de otras áreas como la Física (ya que se trata, realmente, de establecer un circuito eléctrico de capacitores y resistores). Asimismo, la realización de la actividad permite la aplicación de cálculos estadísticos simples para observar la tendencia de los datos. Como se mencionó en el contexto de actividades previas, estos cálculos simples forman parte del curriculum de la materia de Matemáticas de 1º de Bachillerato.

Si bien el protocolo planteado permite la observación de la correlación entre el voltaje y el tiempo de cierre de la trampa, la rapidez del proceso hace que no sea posible la apreciación de la memoria eléctrica a corto plazo (Böhm *et al.*, 2016) que poseen estas plantas. Como alternativa planteamos la posibilidad de que antes de realizar la prueba con los impulsos eléctricos, los estudiantes observen como para producir el cierre de las trampas es necesaria la repetición de impulsos en los pelos sensibles de las hojas (repetición que debe producirse antes de 20 s para que se active la trampa). Otra posibilidad sería, en la aplicación discontinua de los impulsos que se ha descrito con anterioridad, reducir el tiempo de la primera aplicación (10 s en el procedimiento seguido anteriormente), si bien esto aumentaría la dificultad de la toma de datos.

Prácticas relacionadas con la digestión de las presas (actividad enzimática) en las plantas carnívoras.

Las plantas carnívoras dependen, como ya dijimos en la introducción, de la captura de presas para suplir la falta de nutrientes (especialmente N, P, S y sales minerales) de los medios en los que viven. La formación de potenciales de acción no solo produce el cierre de las trampas en *Dionaea* o el movimiento de los pelos glandulares en *Drosera*, sino que va a desencadenar (en un proceso mediado por la biosíntesis del ácido jasmónico) la liberación de una mezcla enzimática especialmente rica en proteasas y quitinasas (Böhm *et al.*, 2016). Estas enzimas contribuyen a reducir las partes blandas de las presas a sus elementos nutritivos que pueden ser absorbidos por la planta. Las prácticas diseñadas pretenden apreciar los resultados de este proceso. La primera práctica intenta la extracción y utilización *ex situ* de algunas de estas enzimas. La segunda práctica analiza el efecto de la mezcla enzimática en la presa.

- ***Cuarta actividad. Análisis del efecto de las enzimas en distintos sustratos***

Introducción

En esta actividad observaremos el efecto del líquido secretado por *Dionaea* y *Drosera* tanto en gelatina comercial, con un alto contenido de azúcares, como en la clara de huevo, con elevado contenido en proteínas. Se espera un mayor efecto en el sustrato proteico, dada la abundancia de proteasas en la mezcla enzimática.

El objetivo de esta práctica será apreciar la acción de las enzimas en distintos sustratos, con lo que idealmente se comprobará su papel en el metabolismo. La actividad propuesta será aplicable a diversas materias de la Educación Secundaria en el itinerario de Ciencias de la Naturaleza y la Salud, más concretamente Biología y Geología de 1º de ESO (Bloque 3, BOE de 3 de Enero de 2015), Biología de 1º de Bachillerato (Bloque 5, BOE de 3 de Enero de 2015) y Biología de 2º de Bachillerato (Bloque 1, Bloque 2, BOE de 3 de Enero de 2015).

Protocolo de la actividad

Modelo de participación de los alumnos y duración. La práctica se llevará a cabo en grupos de dos alumnos (10 grupos para un total de 20 alumnos en el aula). La actividad se desarrollará en 4 sesiones (una semana de docencia), si bien la intensidad de la práctica solo es alta en la primera sesión. Esta actividad podrá realizarse en paralelo a la impartición de los contenidos teóricos.

Material necesario. Necesitaremos plantas de *Dionaea muscipula* y *Drosera aliciae* (una planta de cada especie para cada pareja de alumnos), insectos vivos (idealmente especies fáciles de criar como *Drosophila* sp. o larvas de *Tenebrio molitor*), papel de filtro, huevo cocido, gelatina comercial, tijeras, cúter, lápiz, pinzas, regla y placas Petri (4 para cada pareja de alumnos).

Procedimiento:

- Cortamos 32 cuadrados de papel de filtro de 0.5 cm de lado.
- Ponemos 16 cuadrados de filtro en las hojas con mucílago de *D. aliciae* y los otros 16 los introducimos, junto con un insecto vivo, en las trampas de *D. muscipula*.
- Los dejamos durante 1-2 días.
- A continuación cortamos la clara del huevo en láminas lo más finas posible y hacemos lo mismo con la gelatina comercial.
- Colocamos las láminas de clara de huevo y de gelatina en placas petri (2 placas con cada sustrato). En cada placa, sobre el sustrato, depositamos los cuadrados de papel de filtro ya húmedos con la mezcla enzimática producida por las plantas. Sobre dos láminas de clara huevo ponemos 3 cuadrados procedentes de las trampas de *Dionaea*; mientras que a las otras dos les colocamos 3 cuadrados procedentes de las hojas de *Drosera*. Al quinto fragmento de sustrato, que actuaría de control, se le añaden 2 cuadrados de papel de filtro mojados en agua destilada.
- Dejamos actuar 2 días en un armario a temperatura ambiente.

Resultados

Los objetivos de la práctica no se consiguieron por la rápida aparición de hongos en el cultivo (Fig. 7 a, b), y si bien se observó degradación en la zona de contacto entre el papel y el sustrato, no es atribuible a la acción de los enzimas.



Figura 7: a) Placa de huevo contaminada por hongos. b) Placa de gelatina contaminada por hongos.

Recapitulación

Esta actividad, basada en Böhm *et al.* (2016) y en las propias experiencias de Darwin (1875), no es recomendable para su realización en las aulas, ya que requiere de unas condiciones de asepsia para evitar contaminaciones que no son comunes ni fácilmente reproducibles en los institutos.

- **Quinta actividad. Análisis del proceso digestivo en *Dionaea***

Introducción

Con esta actividad se pretende estudiar el proceso digestivo en las hojas de *Dionaea* en un sustrato vivo. El objetivo será observar como la liberación de los enzimas (principalmente proteasas y quitinasas) por

parte de la planta produce la descomposición y absorción de partes de la presa, larvas de *Tenebrio molitor*. La actividad propuesta será útil para complementar los temas referidos al metabolismo y a las funciones de relación en las plantas. Más concretamente, será aplicable a diversas materias de la Educación Secundaria en el itinerario de Ciencias de la Naturaleza y la Salud, tales como Biología y Geología de 1º de ESO (Bloque 3, BOE de 3 de Enero de 2015), Biología de 1º de Bachillerato (Bloque 5, BOE de 3 de Enero de 2015) y Biología de 2º de Bachillerato (Bloque 1, Bloque 2, BOE de 3 de Enero de 2015).

Protocolo de la actividad

Modelo de participación de los alumnos y duración. La práctica se llevará a cabo en grupos de dos alumnos (10 grupos para un total de 20 alumnos en el aula). La actividad se desarrollará en 5 sesiones (una semana y un día de docencia), si bien la intensidad de la práctica solo es alta en la primera sesión. Esta actividad podrá realizarse en paralelo a la impartición de los contenidos teóricos.

Material necesario. Se necesitarán 25 larvas vivas de *T. molitor* de tamaño semejante, dos plantas de *Dionaea* por pareja de alumnos (o el número de plantas preciso para conseguir, 25 hojas de igual talla y estado fisiológico), pinzas, tijeras, balanza (idealmente más de una por aula), tubos eppendorf. Las larvas de *T. molitor* pueden comprarse en tiendas de animales o cultivarse en un medio compuesto de salvado, harina integral y restos vegetales (Siemanowska *et al.*, 2013).

Procedimiento:

- Seleccionamos 30 larvas de tamaños parecidos, y las metemos cada una en un eppendorf que rotulamos.
- Pesamos cada una de las larvas y apuntamos su peso inicial.
- Introducimos 25 de las 30 larvas en 25 trampas de *Dionaea*, de forma que queden totalmente cerradas. Las 5 larvas restantes, que actuarán como control, se introducen en tubos eppendorf cerrados y se introducen en una nevera para ralentizar el metabolismo.
- Marcamos las hojas con los números identificadores de las larvas. Asimismo, marcamos cada grupo de 5 hojas con números del 1 al 5; estos números corresponden al día en el que se va a comprobar la variación de peso.
- Después de 24 h sacamos las 5 larvas correspondientes al primer día, los pasamos de nuevo a su eppendorf correspondiente y los pesamos.
- Realizamos este mismo proceso durante 4 días más.
- Finalmente observaremos como las larvas pierden peso conforme pasan los días.

Resultados

En la Tabla 5 se puede observar el promedio de peso perdido en cada caso al cabo de 1, 2, 3, 4 y 5 días. Las larvas empleadas como control no perdieron peso a pesar de no haber sido alimentadas durante los 5 días de duración del experimento.

Tabla 5: Porcentaje promedio de peso perdido en las larvas.

Día	% Promedio de peso perdido (gr)
1	5,72±2,05
2	24,14±13,16
3	31,15±27,40
4	13,82±4,45
5	16,10±4,46

La Tabla 5 (datos completos en Anexo 2), muestra que si bien hay pérdida de peso en todos los casos, no se aprecian tendencias significativas en los datos, y los porcentajes perdidos por día distan mucho de ser

homogéneos. Asimismo, se puede apreciar una gran desviación estadística en los datos promedio, lo que refleja una amplia variabilidad debida probablemente a diferencias fisiológicas entre las plantas, si bien se intentó seleccionar ejemplares de edades semejantes. En todo caso, el breve análisis realizado sí permite apreciar que se produce una pérdida de peso de los individuos introducidos en las trampas de *Dionaea*. Los efectos de las enzimas digestivas en las larvas pudieron también comprobarse en el análisis directo de los ejemplares retirados de las trampas, que estaban parcialmente digeridos.

Recapitulación

La actividad planteada ofrece a los estudiantes apoyo en la adquisición de conocimientos relacionados con la actividad metabólica y de relación de las plantas, contenidos relevantes en las diversas materias de la enseñanza secundaria ya citadas anteriormente. La principal ventaja que ofrecen estas plantas es que sus hojas actúan como “estómagos externos” (Böhm *et al.*, 2016) altamente accesibles donde los efectos de la actividad enzimática se observan con facilidad. Si bien la práctica permite ver que las enzimas actúan, no hemos podido apreciar una relación clara entre el tiempo transcurrido y la actividad enzimática en la hoja. Esto podría deberse principalmente a dos factores, (i) las diferencias en el estado metabólico de las distintas hojas y (ii) problemas en la medida del peso de las larvas derivados de la tasa de error en la balanza. Las medidas fueron tomadas en una balanza Gram Precision (Barcelona, España) con un error de 0,001 g, lo que claramente podría afectar a los datos obtenidos, especialmente aquellos de menor entidad (Tabla 5). Se optó sin embargo por no emplear balanzas de mayor precisión para ajustar las condiciones de la experiencia a lo que es común en los institutos de Enseñanza Secundaria.

La realización de esta práctica podría, especialmente en cursos bajos de la ESO, combinarse con el cultivo de los *T. molitor* en el propio centro dentro de un proyecto a más largo plazo. Aspectos que se podrían tratar mediante esta actividad serían los ciclos de vida en animales (observación de larva, pupa y adulto) y el desarrollo de proyectos básicos de investigación.

DISCUSIÓN

Numerosos textos normativos y científicos nacionales e internacionales señalan la importancia de la docencia práctica en las enseñanzas medias (e.g. López & Tamayo, 2012; LOMCE, BOE 10 de Diciembre de 2013). Sin embargo, el estudio crítico de las actividades comúnmente realizadas en los institutos ha detectado numerosos sobreentendidos y algunas deficiencias (e.g. Osborne, 2015). Así, se habla del desarrollo de *habilidades prácticas* o *procedimentales* que hasta el momento no han sido definidas en lo que se refiere a sus objetivos o a sus métodos de impartición y evaluación (Hodson, 1991; Abrahams & Millar, 2008). Al mismo tiempo, diferentes estudios han señalado la utilidad de las actividades prácticas para motivar a los alumnos (Cerini *et al.*, 2003), sin embargo esta motivación no se traduce en una mejora del aprendizaje a medio o largo plazo (Abrahams & Millar, 2008). En esta misma línea, análisis realizados en el Reino Unido han mostrado que en la impartición de las actividades prácticas se pone un énfasis excesivo en la realización de los pasos mecánicos necesarios para la consecución de los objetivos previstos, mientras que se dedica poco tiempo a la reflexión sobre los contenidos teóricos que se pretende ilustrar (Abrahams & Millar, 2008). Asimismo, las actividades prácticas a menudo adolecen de una visión limitada en lo que se refiere al método científico, ignorando aspectos como la dimensión estadística del análisis de datos o la importancia de la comunicación de resultados como parte esencial de lo que significa “hacer ciencia” (Osborne, 2015). Distintos autores han llamado a una reflexión acerca del uso de las actividades prácticas en la Enseñanza Secundaria que ponga el foco en la mejora de la relación entre los recursos invertidos en la creación de laboratorios y la efectividad a nivel cognitivo de las actividades propuestas (e.g. Wellington, 1998; Osborne 2015). Para la consecución de este objetivo será importante el diseño de nuevas actividades que estén claramente dentro del contexto marcado por el curriculum académico, que sean fácilmente evaluadas y que ofrezcan una visión más completa de la actividad científica (Osborne, 2015).

El desarrollo de nuevas actividades prácticas puede ser también parte de la solución a otro problema señalado en distintos estudios (Uno, 2009; Nyberg & Sanders, 2014); el muy bajo empleo de ejemplos extraídos del mundo vegetal en la impartición de contenidos científicos generales en la Enseñanza Secundaria. Esta deficiencia tiene como consecuencia un bajo conocimiento acerca de aspectos muy relevantes del mundo de las plantas (IEA, 1997) y también un bajo nivel de apreciación afectiva del mundo vegetal en comparación con el mundo animal (e.g. Uno, 2009). En este trabajo se han desarrollado 5 actividades prácticas de aplicación directa en distintos elementos del curriculum de la Enseñanza Secundaria. De estas actividades, tres han ofrecido buenos resultados en las pruebas piloto, aunque la primera, *Efectos del ión Zn^{+2} en el cierre de las trampas de *Dionaea**, puede ser aplicable pero requiere cambios en su protocolo y la última, *Análisis del efecto de las enzimas en distintos sustratos*, no ha resultado apropiada por dificultades relacionadas con la necesidad de asepsia.

Las actividades diseñadas pretenden ser un paso en la dirección marcada por los autores mencionados anteriormente. Todas ellas se basan en el uso de plantas carnívoras, lo cual ofrece ventajas no solo por lo llamativo de sus adaptaciones, sino también por su versatilidad y por lo accesible de sus mecanismos fisiológicos. Así, por ejemplo, como se puede observar especialmente en la actividad número cinco (*Análisis del proceso digestivo en *Dionaea**), es fácil observar el efecto de los enzimas de las plantas sobre las presas, mientras que el uso de enzimas digestivos animales ofrece mayores problemas por la dificultad de acceso a los mismos. En los institutos públicos de Galicia se realiza habitualmente la comprobación de la actividad amilasa de la saliva para ilustrar el efecto de los procesos enzimáticos; ambas prácticas serían fácilmente combinables y su utilización conjunta permitiría apreciar procesos enzimáticos análogos en organismos muy diferentes.

Las prácticas diseñadas intentan adaptarse a los modelos propuestos por Osborne (2015) en lo que se refiere a su planteamiento y su evaluación. En todos los casos se establece claramente el contexto académico de aplicación, y casi todas ellas (con la excepción de las actividades cuarta y quinta) están

diseñadas para su uso en los cursos del Bachillerato. Esto es así porque es en estos cursos en los que se realiza un estudio de los sistemas enzimáticos, el potencial osmótico, las biomoléculas y las funciones de relación de las plantas, aspectos todos ellos muy relacionados con el funcionamiento de las plantas carnívoras. Asimismo, se propone un modelo de evaluación para el conjunto de las prácticas que combina las habilidades y conocimientos adquiridos y también su comunicación (y discusión) a terceras personas no relacionadas con la impartición de los contenidos. Se trata de un modelo de evaluación directa (DAPS, Abrahams *et al.*, 2013) que permite la evaluación de forma simultánea del alumno y de la actividad realizada (incluir a terceros en la evaluación se elimina el sesgo inherente al profesor que imparte la actividad). Asimismo, la realización de este tipo de evaluación forzará al alumno a realizar una reflexión pausada de lo aprendido en las sesiones prácticas o teórico-prácticas.

En varias de las actividades diseñadas (actividades segunda, tercera y quinta) los resultados obtenidos permiten la realización de pequeños análisis estadísticos de datos empleando métodos que también se incluyen en el curriculum de la materia de Matemáticas (1º de Bachillerato). Dichos análisis suponen el cumplimiento de otra de las características del modelo de Osborne (2015), quien sugiere que el empleo de estadística elemental aproxima la experiencia del alumno a la actividad real de los científicos.

Si bien este trabajo ha permitido el diseño de actividades cuyo desarrollo puede contribuir a enmendar problemas en la impartición de contenidos prácticos en la Enseñanza Secundaria, la eficacia de lo diseñado requerirá su puesta en práctica con alumnos reales. Conocer la opinión de profesores y alumnos de distintos institutos será el siguiente paso en el desarrollo de este trabajo.

CONCLUSIONES

- Numerosos estudios señalan la necesidad de reformar la docencia práctica en la Enseñanza Secundaria. Esta reforma pasa por el diseño de nuevos materiales que presenten una conexión más clara con los contenidos del currículum, que estén basados en una visión más amplia de lo que es la actividad científica y que tengan métodos claros de evaluación.
- La ausencia de ejemplos y casos prácticos basados en el reino vegetal en la educación científica en enseñanzas medias redundaba en un menor conocimiento y apreciación del mundo vegetal entre los estudiantes.
- Como principal resultado de este trabajo se presentan cinco prácticas de aula/laboratorio basadas en el uso de ejemplares vivos de dos plantas carnívoras, *Dionaea muscipula* y *Drosera aliciae* con las que se pretende mejorar la visión que los estudiantes tienen del mundo vegetal (reducción de la “ceguera vegetal”) y profundizar en la aplicación del método científico.. Estas prácticas se centran bien en el mecanismo de cierre de *Dionaea* (actividades 1, 2 y 3) o en proceso de digestión de las presas en *Dionaea* y *Drosera* (actividades 4 y 5).
- Dos de las prácticas diseñadas (actividades 1 y 4) requieren cambios en su protocolo para poder ser aplicadas.
- Las actividades propuestas evitan centrarse exclusivamente en la reproducción en el laboratorio de los pasos necesarios para la consecución de unos objetivos procedimentales. Para las actividades propuestas se incluye su ámbito de aplicación, su protocolo y se sugiere un método de evaluación general.
- Las actividades se han diseñado en relación al currículum académico de los cursos de educación secundaria (ESO y Bachiller) y dentro de las posibilidades materiales de los centros de secundaria.

CONCLUSIONS

- A number of studies have highlighted the need for a reappraisal of the practical work in secondary school science. The necessary changes should involve the design of new materials with a clearer connexion with the contents of the syllabus. In addition to this, they should be based on a wider view of the scientific method and they should have clear evaluation methods.
- The exclusion of the plant world of the practical exercises used to illustrate general biological concepts in secondary school science courses has led to a lower recognition and appreciation of the importance of the plant world among the students.
- We present five practical exercises based on the use of living specimens of two carnivorous plants, *Dionaea muscipula* and *Drosera aliciae*. These exercises focus on the closing mechanism of *Dionaea* leaves (activities 1, 2 and 3) and on the digestion process in *Dionaea* and *Drosera* (activities 4 and 5).
- Two of the designed activities (activities 1 and 4) require changes in their protocol to be used in teaching.
- The proposed activities do not aim solely at repeating the necessary steps to achieve some procedural objectives. All activities include their application context, their protocol and a general assessment method is also proposed.
- The designed practices are clearly adapted to the syllabus of different courses in Secondary Education (ESO and Bachillerato). They have been designed considering the means generally available in high schools.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahams I, Millar R. 2008. Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education* **30**: 1945–1969.
- Abrahams I, Reiss MJ, Sharpe RM. 2013. The assessment of practical work in school science. *Studies in Science Education* **49**: 209-251.
- Amagase S. 1972. Digestive enzymes in insectivorous plants. III. Acid proteases in the genus *Nepenthes* and *Drosera peltata*. *Journal of Biochemistry* **72**: 73-81.
- Barker SD. 2007. Reconnecting with Nature. *Journal of Biological Education* **41**: 147-149.
- Bilton DT. 2014. What's in a name? What have taxonomy and systematics ever done for us?. *Journal of Biological Education* **48**: 116-118.
- Blondeau G. 2004. *El gran libro de las plantas carnívoras*. de Vecchi. Barcelona.
- Böhm J, Scherzer S, Król E, Shabala S, Neher E, Hedrich R, Kreuzer I, Monte I, Solano R. 2016. The Venus Flytrap *Dionaea muscipula* Counts Prey-Induced Action Potentials to Induce Sodium Uptake. *Current Biology* **26**: 286-295.
- Boletín Oficial del Estado. 2013. *Ley orgánica 8/2013, de 9 de diciembre*. Gobierno de España. Madrid.
- Boletín Oficial del Estado. 2015. *Ley orgánica 8/2013, de 9 de diciembre*. Gobierno de España. Madrid.
- Boletín Oficial del Estado. 2007. *Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo*. Gobierno de España. Madrid.
- Bringmann G, Rischer R, Schalauer J, Wolf K. 2002. The tropical liana *Triphyophyllum pelatum* (Dioncophyllaceae): formation of carnivorous organs is only a facultative prerequisite for shoot elongation. *Carnivorous Plant Newsletter* **31**: 44-52.
- Cerini B, Murray I, Reiss M. 2003. *Student review of the science curriculum. Major findings*. Institute of Education University of London. Londres.
- Chova M. 2015. Plantas Carnívoras, unos seres fascinantes. Disponible en: <<http://cienciaybiologia.com/plantas-carnivoras-fotos-videos/>> Consulta: 06/02/2016.
- D'Amato P. 1998. *The savage garden. Cultivating carnivorous plants*. Ten Speed Press. Berkeley.
- Darwin C. 1875. *Insectivorous plants*. Murray. Londres.
- Diario Oficial de Galicia. 2015. *Decreto 86/2015, de 25 de junio*. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela
- Hawley D. 2012. The real deal of Earth Science: why, where and how to include fieldwork in teaching. *School Science Review* **94**: 347.
- Hodick D, Sievers A. 1988. The action potential of *Dionaea muscipula* Ellis. *Planta* **174**: 8–18.
- Hodick D, Sievers A. 1989. On the mechanism of trap closure of Venus flytrap (*Dionaea muscipula* Ellis). *Planta* **179**: 32–42.
- Hodson D. 1991. Practical work in science: Time for a reappraisal. *Studies in Science Education* **19**: 175-184.
- Instituto de Evaluación de la Educación en España. 2011. Sistema Estatal de Indicadores de la Educación. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Madrid.

- International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA). 1997. *Science Achievement in the Primary School Years: IEA's Third International Mathematics and Science Studies (TIMSS)*. Center for the Study of Testing, Evaluation and Educational Policy. Boston.
- Jennings DE, Krupa JJ, Raffel TR, Rohr JR. 2010. Evidence for competition between carnivorous plants and spiders. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **277**: 3001-3008.
- Jürgens A, El-Sayed AM, Suckling DM. 2009. Do carnivorous plants use volatiles for attracting prey insects? *Functional Ecology* **23**: 875-887.
- Król E, Dziubinska H, Stolarz M, Trebacz K. 2006. Effects of ion channel inhibitors on cold and electrically-induced action potentials in *Dionaea muscipula*. *Biologia Plantarum* **50**: 411-416.
- Król E, Plachno BJ, Adamec L, Stolarz M, Dziubinska H, Trebacz K. 2011. Quite a few reasons for calling carnivores 'the most wonderful plants in the world. *Annals of Botany* **109**: 47-64.
- Laakkonen L, Jobson RW, Albert VA. 2006. A new model for the evolution of carnivory in the bladderwort plant (*Utricularia*): Adaptive changes in cytochrome c oxidase (COX) provide respiratory power. *Plant Biology* **8**: 758-764.
- Lecoufle M. 2006. *Plantas Carnívoras. Clasificación, origen, cultivo y plagas*. Omega. Barcelona.
- López Rúa AM, Tamayo Alzate OE. 2012. Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos* **8**: 145-166.
- Markin VS, Volkov AG, Jovanov E. 2008. Active movements in plants: mechanism of trap closure by *Dionaea muscipula* Ellis. *Plant Signaling & Behavior* **3**: 778-783.
- National Research Council. 2011. *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. National Academies Press. Washington
- Nyberg E, Sanders D. 2014. Drawing attention to the "green side of life". *Journal of Biological Education* **48**: 142-153.
- Osborne J. 2011. Science teaching methods: a rationale for practices. *School Science Review* **98**: 93-103.
- Osborne J. 2015. Practical work in science: misunderstood and badly used? *School Science Review* **96**: 357.
- Pearson D, Moje EB, Greenleaf C. 2010. Literacy and science: each in the service of the other. *Science* **328**: 459-463.
- Pietropaolo J, Pietropaolo, P. 1996. *Carnivorous plants of the world*. Timber press. Portland.
- Schussler EE, Olzak L. 2008. It's not easy being green: student recall of plant and animal images. *Journal of Biological Education* **42**: 112-119.
- Sadowski EM, Seyfullah LJ, Sadowski F, Fleischmann A, Behling H, Schmidt AR. 2014. Carnivorous leaves from Baltic Amber. *Proceedings of the National Academy of Science* **112**: 190-195.
- Siemianowska E, Koewska A, Aljewicz M, Skibniewska KA, Polak-Juszczak L, Jarocki A, Jedras M. 2013. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agricultural Sciences* **4**: 287-291.
- Slingsby D. 2006. The future of school science lies outdoors. *Journal of Biological Education* **40**: 51-52.
- Uno G. 2009. Botanical literacy: what and how should students learn about plants? *American Journal of Botany* **96**: 1753-1759.
- Volkov AG, Adesina T, Jovanov E. 2007. Closing of Venus Flytrap by Electrical Stimulation of Motor Cells. *Plant Signaling & Behavior* **2**: 139-145.

- Volkov AG, Adesina T, Markin VS, Jovanov E. 2008. Kinetics and Mechanism of *Dionaea muscipula* Trap Closing. *Plant Physiology* **146**: 694-702.
- Volkov AG, Adesina T, Jovanov E. 2008b. Charge induced closing of *Dionaea muscipula* Ellis Trap. *Bioelectrochemistry* **74**: 16-21.
- Wandersee JH, Schussler EE. 2001. Towards a theory of plant blindness. *Plant Science Bulletin* **47**: 2-9.
- Wellington J. 1998. Practical work in science. In J Wellington, ed. *Practical work in school science: Which way now?*. Routledge. Londres.
- Williams SE, Bennett AB. 1982. Leaf closure in the Venus flytrap: an Acid growth response. *Science* **218**: 1120-1122.

Anexo 1: Tiempos de cierre de la trampa al aplicársele diferentes voltajes.

Voltaje (V)	Hojas	Tiempo (cs)
1	1	2800
	2	2800
	3	4100
	4	165
	Promedio	2425
3	1	187
	2	6 61
	3	1000
	4	533
	Promedio	1201.5
5	1	944
	2	1000
	3	141
	4	117
	Promedio	550.5
7	1	198
	2	922
	3	591
	4	167
	Promedio	469.5
9	1	140
	2	319
	3	287
	4	173
	Promedio	229.75
11	1	260
	2	146
	3	070
	4	081
	Promedio	139.25

Anexo 2: Peso perdido por las larvas en relación al tiempo transcurrido. P, dato perdido.

Día	Larvas	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	% Peso perdido (gr)
1	1A	0,083	0,077	7,23
	1B	0,059	0,057	3,39
	1C	0,061	0,057	6,56
	1D	0,102	P	P
	1E	0,064	P	P
	Promedio			5,72±2,05
2	2A	0,087	0,062	28,73
	2B	0,054	0,053	1,85
	2C	0,060	0,040	33,33
	2D	0,113	0,075	33,68
	2E	0,069	0,053	23,19
	Promedio			24,14±13,16
3	3A	0,065	0,021	67,70
	3B	0,060	0,050	16,66
	3C	0,067	0,06	10,45
	3D	0,09	0,083	7,77
	3E	0,079	0,037	53,16
	Promedio			31,15±27,40
4	4A	0,078	0,070	10,25
	4B	0,049	0,042	14,28
	4C	0,064	0,051	20,31
	4D	0,066	0,060	9,10
	4E	0,066	0,056	15,15
	Promedio			13,82±4,45
5	5A	0,048	0,040	16,66
	5B	0,097	0,075	22,68
	5C	0,077	0,066	14,28
	5D	0,087	0,080	8,04
	5E	0,069	0,056	18,84
	Promedio			16,10±4,46